

SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR DC D-6759 BERBASIS ARDUINO MEGA 2560

Muhamad Faishol Arif, Pembimbing 1: Erni Yudaningtyas, Pembimbing 2: Rahmadwati.

Abstrak— Hampir seluruh industri didunia saat ini memanfaatkan perkembangan teknologi kontrol. Motor *Direct Current* (DC) adalah aktuatur yang banyak digunakan dalam teknologi kontrol. Motor DC memiliki respon yang cepat, namun masih memiliki *error steady state*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kontroler yang tepat dan sesuai dengan plant sistem. Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) adalah kontrol aksi yang memiliki respon cepat, sehingga sesuai untuk mengontrol kecepatan motor DC. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan sistem terlebih dahulu untuk mempermudah dalam mencari parameter kontroler yang tepat dengan menggunakan teori pertama metode *Ziegler-Nichols* dan didapat nilai parameter $K_p = 4.337$, $K_i = 3.0978$, dan $K_d = 1.5179$. Dari parameter tersebut diimplementasikan pada motor DC untuk dibandingkan antara hasil respon sistem menggunakan aplikasi *simulink* Matlab dengan hasil respon sistem implementasi pada motor DC.

Kata Kunci— Motor DC D-6759, Kontrol Kecepatan, Kontrol PID.

I. PENDAHULUAN

Motor *Direct Current* (DC) adalah penggerak yang sering digunakan dalam teknologi kontrol baik industri maupun rumah tangga. Motor DC memiliki respon yang cepat, namun masih memiliki *error steady state*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kontroler yang tepat dan sesuai dengan plant sistem. Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) adalah kontrol aksi yang memiliki respon cepat, sehingga kontrol aksi ini sesuai jika digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC.

Dengan adanya modul motor DC dengan tipe D-6759 di Laboratorium Sistem Kontrol Fakultas Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang yang belum dapat digunakan sepenuhnya, maka dalam skripsi ini dilakukan pengembangan rangkaian dan sistem yang dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC D-6759 sebagai pengontrol kecepatan menggunakan kontrol PID dengan respon yang termonitor secara *real time* dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam mengetahui perubahan yang terjadi. Selain termonitor secara *real time* dalam rangkaian juga terdapat saklar yang digunakan untuk menentukan *set point* berupa kecepatan putar motor DC. Untuk perangkat keras kontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560. Diharapkan dengan adanya

penelitian ini dapat memberikan pengetahuan lebih lanjut tentang pemodelan motor DC D-6759 sebagai pengontrol kecepatan serta dapat membandingkan respon sebelum dan sesudah diimplementasikan pada motor DC.

II. IDENTIFIKASI SISTEM

A. Pemodelan

Perancangan sistem kontrol loop tertutup memiliki beberapa tujuan yaitu untuk mencapai sistem stabil, untuk memastikan bahwa nilai keluaran sistem dekat dengan nilai masukan sistem yang diinginkan, dan untuk menyaring proses residu *noise* pengukuran dari sinyal kontrol [3].

Pemodelan merupakan langkah awal untuk mendapat nilai kontrol yang tepat dalam sistem kontrol loop tertutup. Dengan merepresentasikan bentuk matematis pada setiap blok sistem yang ingin dikontrol, akan didapat nilai matematis sistem keseluruhan sehingga dapat dengan mudah mencari nilai sistem kontrol loop tertutup yang tepat.

B. Motor DC D-6759

Motor DC merupakan salah satu penggerak utama yang banyak digunakan di industri masa kini. Pada tahun-tahun lalu kebanyakan motor servo kecil yang digunakan untuk tujuan kendali merupakan jenis *Alternating Current* (AC). Pada kenyataannya, motor AC lebih sulit untuk dikendalikan, khususnya untuk kendali posisi, dan karakteristiknya cukup nonlinier, yang membuat tugas analitis lebih sulit. Sedangkan motor *Direct Current* (DC) lebih mahal, karena sikat dan komutatornya, dan motor DC dengan *fluks* berubah hanya sesuai untuk aplikasi kendali jenis tertentu. Sebelum teknologi magnet berkembang pesat, torsi per satuan volume atau bobot dari suatu motor DC dengan medan magnet permanen sangat jauh dari yang diinginkan. Sekarang, dengan perkembangan magnet lapisan bumi dimungkinkan untuk mendapatkan motor DC permanen torsi ke volume yang sangat tinggi dengan biaya terjangkau. Lebih dari itu, kemajuan-kemajuan yang dibuat pada teknologi sikat dan komutator telah membuat sikat dan komutator dapat digunakan dengan bebas perawatan. Kemajuan yang dibuat pada elektronika daya telah menjadikan motor DC tanpa sikat cukup terkenal pada sistem kendali dengan performansi tinggi. Teknik manufaktur yang maju juga telah menghasilkan motor DC dengan rotor tanpa besi yang mempunyai inersia yang sangat kecil, sehingga mencapai suatu rasio torsi-inersia yang sangat tinggi, dan sifat konstanta waktu yang kecil telah membuka aplikasi baru untuk motor DC pada perlengkapan komputer seperti penggerak pita, printer, *disk drive*, dan pengolah kata, seperti pada industri otomasi dan perkakas mesin [1].

Dalam penelitian ini motor DC yang digunakan menggunakan magnet permanen seperti terlihat dalam Gambar 1



Gambar 1 Motor DC D-6759.

C. Sensor Optocoupler

Sensor adalah proses mengkonversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Sensor dapat didefinisikan sebagai perangkat pengubah pengukuran (apa yang akan diukur) menjadi pengukuran yang diinginkan [2]

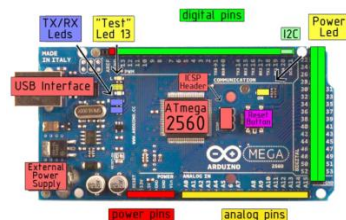
Sensor *optocoupler* adalah komponen yang mampu membaca gerak dan posisi (lihat Gambar 2). Sensor *optocoupler* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, arah, dan kecepatan.



Gambar 2 Sensor *Optocoupler*.

D. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Arduino mega 2560 adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega328 (lihat Gambar 3). Papan ini memiliki 54 digital *input/output* pin (14 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 *input* analog, 16 MHz osilator kristal, USB koneksi, jack listrik, *header* ICSP, dan tombol reset.



Gambar 3 Motor DC Servo.

E. Driver Motor DC D-6759

Motor DC tidak dapat dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler, karena kebutuhan daya listrik yang cukup besar pada motor DC sedangkan daya keluaran pada mikrokontroler sangat kecil. Sehingga mikrokontroler membutuhkan rangkaian *driver* yang mampu memperbesar daya dari 0 V – 5 V menjadi 0 V – 12 V. Ada beberapa jenis *driver* motor yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor, yaitu

menggunakan rangkaian H-Bridge transistor, H-Bridge MOSFET, dan IC *driver* motor. Pada penelitian ini *driver* motor menggunakan IC *driver* L298N berbasis H-Bridge (Lihat Gambar 4)



Gambar 4 Driver Motor DC D-6759.

F. Sinyal Pseud-Random Binary Sequence (PRBS)

Pseudo Random Binary Sequence (PRBS) adalah sinyal kotak yang termodulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan *Linear Feedback Shift Register* (LFSR). Pada LFSR memiliki 2 parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan, yaitu: panjang dari *shift register* dan susunan umpan balik. PRBS memiliki variasi panjang sekuensialnya tergantung dari panjangnya *shift register* seperti ditunjukkan dalam Tabel 1

Tabel 1 Tabel Variasi Panjang Skuensial PRBS [4]

Panjang Register (N)	Panjang Sekuensial $I = 2^n - 1$	Posisi Tap Umpan Balik
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2, 3, 4, dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

Panjang dari *shift register* menentukan periode maksimum yang dapat dihasilkan dari sekuensial PRBS yang tidak berulang dan dapat dinyatakan dengan Persamaan 1

$$L_{PRBS} = 2^n - 1 \quad (1)$$

Dimana :

n adalah panjang dari register LFSR (jumlah bit)

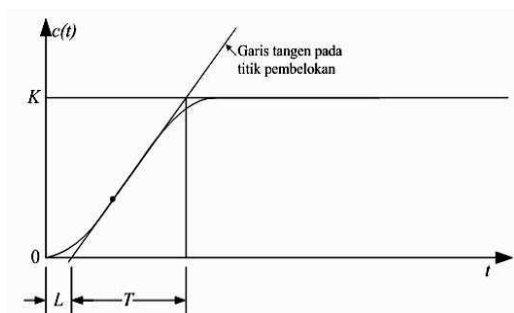
G. Kontroler

Kontroler otomatis membandingkan nilai sebenarnya dari keluaran sistem secara keseluruhan (*plant*) dengan mengacu pada masukan (nilai yang dikehendaki), menentukan penyimpangan dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan mengurangi penyimpangan menjadi nol atau nilai yang terkecil [5].

Kontroler PID dapat di *tuning* dengan beberapa cara, antara lain Ziegler-Nichols *tuning*, *loop tuning*, metode analitis, optimasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning*. Langkah awal proses pencarian parameter PID dilakukan dengan cara mencari fungsi

alih aktuator sistem yang berupa motor DC. Dalam penelitian ini pencarian fungsi alih dilakukan menggunakan sinyal *pseudo-random binary sequence* (PRBS) dengan metode identifikasi pada matlab.

Setelah didapat fungsi alih aktuator, pencarian parameter K_p , K_i , dan K_d dalam penelitian ini menggunakan teori pertama metode *Ziegler-Nichols* dengan bantuan simulasi matlab. Teori kurva respon dapat dilihat dalam Gambar 5 dan Tabel 2



Gambar 5 Teori Pertama Dari Metode Ziegler-Nichols.

Tabel 2 Rumus Teori Pertama Metode Ziegler-Nichols

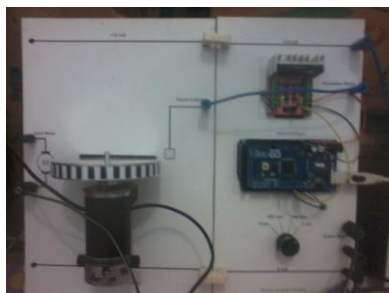
Type Kontroler	K_p	$T_i = K_p/K_i$	$T_d = K_d/K_p$
P	T/L	∞	0
PI	$0.9(T/L)$	$L/0.3$	0
PID	$1.2(T/L)$	$2 \times L$	$0.5 \times L$

III. PERANCANGAN MODUL

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras meliputi perancangan papan modul dan perancangan rangkaian elektrik, untuk perangkat lunak meliputi diagram blok sistem, diagram alir sistem, dan pembuatan program Arduino Mega 2560.

A. Perancangan Modul Papan Penyangga

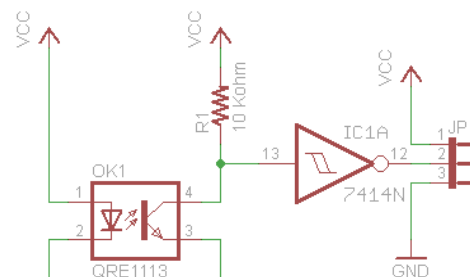
Konstruksi modul papan penyangga dibuat menggunakan *acrylic* dengan ukuran yang sama dengan modul praktikum yaitu 20 cm x 29.75 (lihat Gambar 6)



Gambar 6 Konstruksi Modul Papan Penyangga Rangkaian.

B. Perancangan Rangkaian Sensor *Optocoupler*

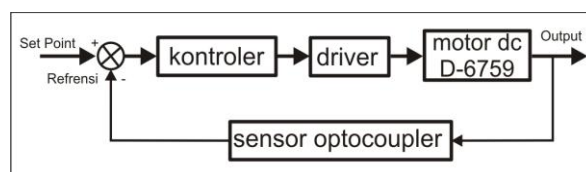
Rangkaian sensor *optocoupler* terdiri atas rangkaian elektrik *optocoupler* dan piringan pembacaan sensor. Pada rangkaian *optocoupler* diletakkan di dalam modul motor DC D-6759 yang gelap untuk menghindari gangguan dari cahaya luar, untuk piringan pembacaan sensor menggunakan garis warna hitam dan putih sebanyak 32 garis yang terletak di tepi piringan *optocoupler* yang terkopel dengan poros motor seperti terlihat dalam Gambar 7



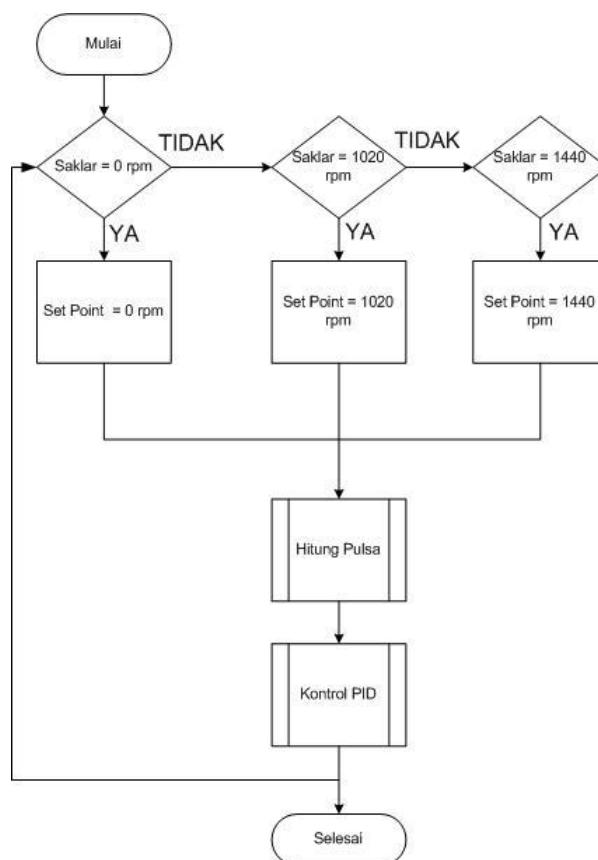
Gambar 7 Rangkaian Sensor *Optocoupler*.

C. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak sistem digambarkan dalam diagram blok sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 8 dan untuk program Arduino Mega 2560 dibuat mengikuti diagram alir sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 9



Gambar 8 Diagram Blok Sistem.



Gambar 9 Diagram Alir Sistem.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini meliputi pengujian perangkat keras dalam hal ini pengujian sensor *optocoupler*, pengujian

driver motor DC D-6759, pengujian motor DC D-6759, pengujian keseluruhan sistem.

A. Pengujian Sensor *Optocoupler*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian keluaran tegangan yang dihasilkan oleh sensor *optocoupler* sebelum masuk ke dalam pin Arduino.

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor *Optocoupler*

No	Warna Pembacaan	Tegangan Keluaran Sensor
1	Putih	4.73 v
2	Hitam	358 mv

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran sensor *optocoupler* sesuai dengan tegangan masukan pin Arduino Mega 2560.

B. Pengujian Driver Motor DC D-6759

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian keluaran tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian driver motor DC D-6759 dengan masukan tegangan yang dibutuhkan oleh motor DC D-6759.

Tabel 5 Hasil Pengujian Driver Motor DC D-6759

No	PWM	Tegangan Kontroler (volt)	Tegangan Driver (volt)
1	0	0	0
2	10	192.6 mv	305.5 mv
3	20	367.4 mv	0.788
4	30	0.53	1.254
5	40	0.707	1.723
6	50	0.88	2.191
7	60	1.059	2.65
8	70	1.231	3.129
9	80	1.405	3.598
10	90	1.584	4.03
11	100	1.756	4.49
12	110	1.936	4.96
13	120	2.111	5.43
14	130	2.283	5.89
15	140	2.464	6.37
16	150	2.637	6.72
17	160	2.825	7.31
18	170	2.991	7.76
19	180	3.171	8.24
20	190	3.342	8.72
21	200	3.51	9.17
22	210	3.703	9.64
23	220	3.91	10.12
24	230	4.05	10.52
25	240	4.23	11.05
26	250	4.4	11.32
27	255	4.48	11.73

Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian driver sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh motor DC D-6759.

C. Pengujian Motor DC D-6759

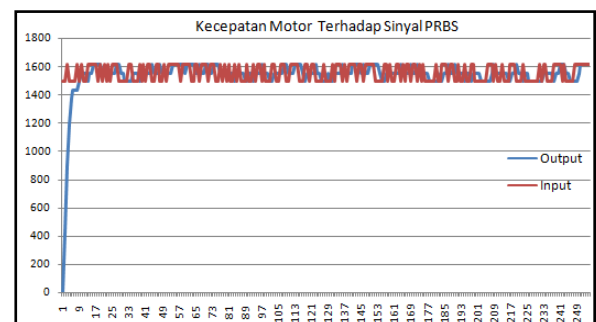
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kecepatan motor DC D-6759 terhadap

sinyal *pulse width modulation* (PWM). Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 6

Tabel 6 Hasil Pengujian Motor DC D-6759

No	PWM	Kecepatan (rpm)
1	0	0
2	10	0
3	20	0
4	30	0
5	40	0
6	50	120
7	60	300
8	70	360
9	80	480
10	90	540
11	100	660
12	110	720
13	120	780
14	130	840
15	140	960
16	150	1020
17	160	1020
18	170	1080
19	180	1200
20	190	1260
21	200	1320
22	210	1380
23	220	1440
24	230	1500
25	240	1560
26	250	1620
27	255	1620

Hasil pengujian motor DC D-6759 menunjukkan bahwa semakin besar sinyal PWM, maka putaran motor semakin cepat. Dengan data pengujian motor yang diperoleh dapat dilakukan pengujian selanjutnya menggunakan sinyal PRBS. Hasil pengujian menggunakan sinyal PRBS ditunjukkan dalam Gambar 10



Gambar 10 Grafik Pengujian Dengan Sinyal PRBS.

Dari hasil pengujian motor dengan sinyal PRBS didapat nilai fungsi alih sebagai berikut

$$\frac{0.478 s + 0.001409}{s^2 + 0.4779 s + 0.001423}$$

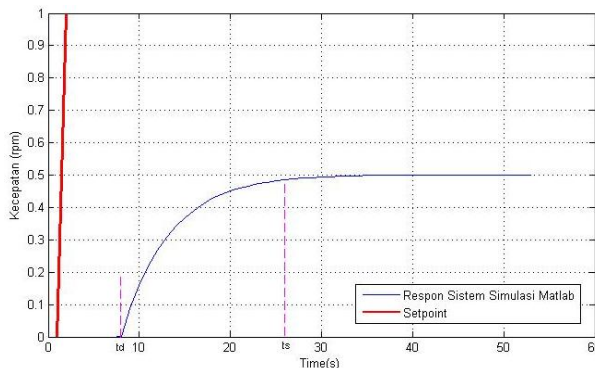
Dengan *best fit* sebesar 82.7 %

D. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai kontroler yang dibutuhkan agar sistem bekerja sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan serta mengetahui hasil respon yang diimplementasikan pada alat.

➤ Pengujian sistem tanpa kontroler

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem jika tanpa diberi kontroler. Pada pengujian tanpa kontroler ini diberi *setpoint* berupa *unit step* sebesar 1, hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 11



Gambar 11 Grafik Respon Sistem Tanpa kontroler Dengan Setpoint unit step sebesar 1.

$$\begin{aligned} \% ess &= \frac{|0.5-1|}{1} \times 100\% \\ &= 0.5 \times 100\% \\ &= 50\% \end{aligned}$$

Dimana,

ess = *error steady state*

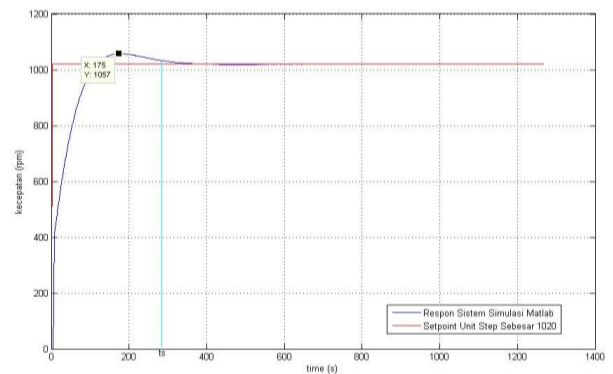
PV = *Present Value* (nilai sekarang atau keluaran sensor)

SP = *Setpoint* (nilai masukan)

Dari grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 11 dapat disimpulkan bahwa sistem terdapat *error steady state* sebesar 50%, t_s (waktu kerja) sebesar 3,6 detik, dan t_d (waktu tunda) sebesar 1 sehingga sistem membutuhkan kontroler yang mampu memperbaiki respon.

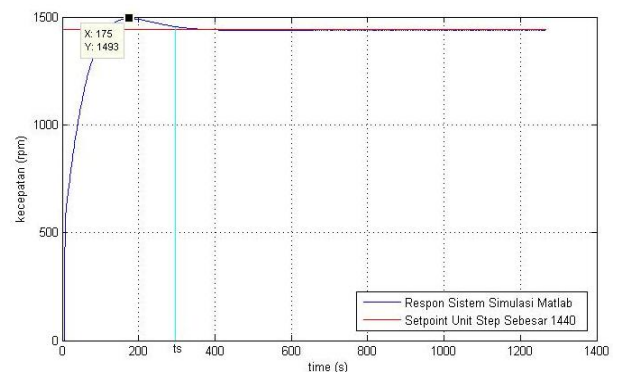
➤ Pengujian sistem pada simulasi aplikasi Matlab menggunakan parameter PID yang didapat dari perhitungan metode Ziegler-Nochols

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah nilai parameter yang didapat sudah sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Pada pengujian ini diberi *setpoint* berupa *unit step* sebesar 1020 dan 1440, hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 12 dan Gambar 13



Gambar 12 Grafik Respon Sistem Simulasi Matlab Dengan Setpoint Unit Step Sebesar 1020.

Dari grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa sistem tidak terdapat *error steady state*, *overshoot* sebesar 3,6 %, t_s sebesar 6,3 detik, dan t_d sebesar 1 detik sehingga parameter PID yang didapat cukup sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.

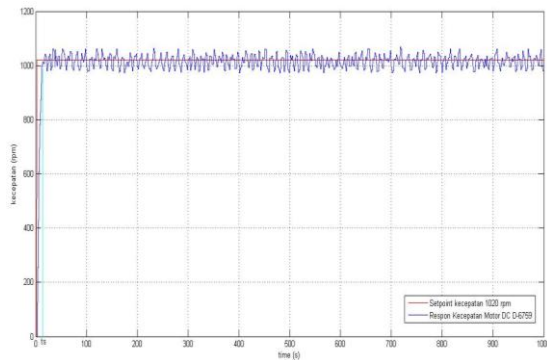


Gambar 13 Grafik Respon Sistem Simulasi Matlab Dengan Setpoint unit step sebesar 1440 rpm.

Dari grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa sistem tidak terdapat *error steady state*, *overshoot* sebesar 3,7 %, t_s sebesar 6,3 detik, dan t_d sebesar 1 detik sehingga parameter PID yang didapat cukup sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.

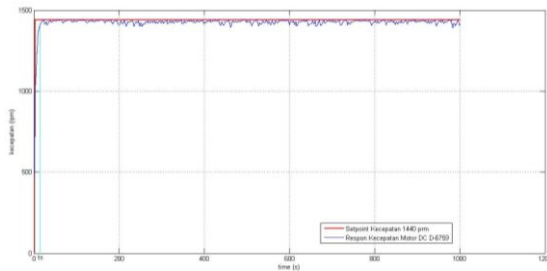
➤ Pengujian sistem pada alat setelah diimplementasikan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah respon yang didapat dalam simulasi Matlab sama dengan respon yang didapat dari alat dengan nilai parameter kontroler yang sama. Pada pengujian ini *setpoint* yang diberikan sebesar 1020 rpm, 1440 rpm, dan *setpoint* acak dengan diberi gangguan. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16.



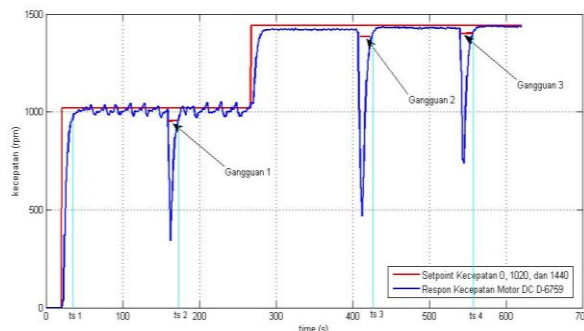
Gambar 14 Grafik Respon Sistem Alat Dengan Setpoint 1020 rpm.

Dari grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 14 dapat disimpulkan bahwa sistem terdapat osilasi namun masih dalam toleransi 2-5 % yaitu 20,4-51 rpm, t_s (waktu kerja) sebesar 6,5 detik, dan tidak terdapat t_d (waktu tunda) sehingga parameter PID yang diimplementasikan pada alat dengan setpoint 1020 rpm memiliki respon yang cukup baik, namun tidak sama dengan respon simulasi Matlab.



Gambar 15 Grafik Respon Sistem Alat Dengan Setpoint 1440 rpm.

Dari grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 15 dapat disimpulkan bahwa sistem terdapat osilasi namun masih dalam toleransi 2-5 % yaitu 28,8-72 rpm, t_s sebesar 6 detik, dan tidak terdapat t_d sehingga parameter PID yang diimplementasikan pada alat dengan setpoint 1440 rpm memiliki respon yang cukup baik, namun tidak sama dengan respon simulasi Matlab.



Gambar 16 Respon Sistem Alat Dengan Setpoint Berubah dan Diberi Gangguan.

Dari grafik respon sistem yang ditunjukkan dalam Gambar 16 dapat disimpulkan bahwa sistem terdapat osilasi namun masih dalam toleransi 2-5 %, t_s 1 sebesar 7,6 detik, t_s 2 sebesar 5 detik, t_s 3 sebesar 7 detik, t_s 4 sebesar 6 detik dan tidak terdapat t_d sehingga parameter PID yang diimplementasikan pada motor DC D-6759

dengan setpoint berubah dan diberi gangguan memiliki respon yang cukup baik, namun tidak sama dengan respon simulasi Matlab.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan sinyal *Pseudo-Random Binary Sequence* (PRBS) didapat nilai fungsi alih $\frac{0.478 s + 0.001409}{s^2 + 0.4779 s + 0.001423}$ dengan nilai *best fit* sebesar 82.7 %.
2. Berdasarkan respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode pertama dari teori *Ziegler-Nicholes* didapat nilai parameter kontroler PID dengan penguatan sebesar $K_p = 4.337$, $K_i = 3.0978$, dan $K_d = 1.5179$.
3. Berdasarkan dari hasil respon yang didapat antara simulasi dan implementasi pada motor DC, dapat disimpulkan bahwa hasil respon simulasi tidak sama dengan respon implementasi motor DC dikarenakan implementasi pada motor DC lebih banyak gangguan dibandingkan pada simulasi aplikasi Matlab hampir tidak terdapat gangguan.

B. Saran

Dalam Perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan :

1. Menggunakan sensor kecepatan yang memiliki resolusi lebih tinggi untuk mendapat nilai putaran motor yang lebih presisi dengan cara menggunakan sensor *rotary encoder*.
2. Mendapatkan nilai *best fit* yang lebih besar (mendekati 100%) agar didapat nilai fungsi alih yang sesuai dengan sistem dengan cara melakukan lebih banyak uji coba.
3. Memperkecil nilai momen inersia yang membebani putaran motor dengan cara mengganti piringan *optocoupler* yang lebih ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Benjamin, C. 1995. *Teknik Kontrol Automatik*. Yogyakarta. Penerbit : PT Aditya Media.
- [2] James T. H. 1983. *Industrial Electronics*. California : United State or America.
- [3] Johnson, M. A., Moradi, 1984. Mohammad H. *PID Controller*. London: Springer-Verlag.
- [4] Landau, I. D., Zito G. 2006. *Digital Control System*. London : Springer-Verlag.
- [5] Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.